# 云南入侵植物的生物学性状初步研究

张秋霞，李德宝，夏顺颖，欧晓昆*

（云南大学生态学与地植物学研究所，昆明 650090）

**摘要**：在气候暖化和人为干扰日益增强的背景下，云南的植物入侵危害状况日渐严重，研究入侵植物的生物学性状从而进行防控管理可降低入侵风险。本研究基于文献、数据库和标本记录等资料的查询，统计得出云南省入侵植物共 247 种，隶属 51 科，149 属。菊科、禾本科和豆科是优势科，超过一半的入侵植物起源于美洲，入侵植物的生物学性状主要体现为一年生或短期多年生草本的生活型、种子繁殖、分蘖型的克隆方式、花果期集中于夏秋两季、短花期、黄白的花色及具有表面结构和附属物的特殊性状等。通过对云南省入侵植物分布的县（市、区）的数量、生物学性状和对环境的危害程度、是否列入“世界 100 种危害最严重的入侵种名单”和是否列入“国家环保总局和中国科学院联合发布的四批中国外来入侵物种名单” 5 个指标进行赋值，把入侵植物分为四个风险等级，其中，恶性入侵植物有 18 种，严重入侵植物有 23 种，一般入侵植物有 188 种，有待观察类有 18 种，恶性和严重入侵植物与云南全部入侵植物的主要生物学性状表征具有一致性。结合入侵植物的生物学性状特征和风险等级，及时开展对云南入侵植物的有效防控管理极为重要。

**关键词**：入侵植物，生物学性状，传播体，等级，云南

DOI：10.11931/guihaia.gxzw201703038

# Biological characteristics of alien invasive plants in Yunnan Province

ZHANG Qiu-Xia, LI De-Bao, XIA Shun-Ying, OU Xiao-Kun*

(*Institute of Ecology and Geobotany, Yunnan University,* Kunming 650090, China)

**Abstract**: The harmful effects caused by alien invasive plants are becoming more severe with the global warming and human interference in Yunnan Province. Studying the biological

**收稿日期：2017-03-28**

**基金项目**：国家重点研发计划（2016YFC1201100）[Supported by the National Key Research and Development Program of China（2016YFC1201100）]。

**作者简介**：张秋霞(1992-)，女，云南临沧人，硕士，主要从事植物入侵研究，（E-mail）zhangqiuxia_ynu@163.com。

***通信作者**：欧晓昆，博士，教授，主要从事植被生态学研究，（E-mail）xkou@ynu.edu.cn。

characteristics of the alien invasive plants is an effective method to lower the invasion risk and improve the prevention management. In this paper, we concluded that there are 247 alien invasive plant species in Yunnan, which belong to 149 genus and 51 families based on literature reading, database and specimen records studying. The results show that the dominated families are Compositae, Gramineas and Leguminosae, more than half of the alien invasive plants originated from America. The biological characters of alien invasive plant are mainly annual or short - lived perennial herb, seed reproduction, main clonal reproduction is tiller. The time of flowering and fruit mainly concentrated in summer or autumn. The dominant dispersal characteristics of the alien invasive plants depend on the special type/color/shape/size/surface structure and appendage of propagule, etc. We divided alien invasive plants into four grades based on following five aspects, the distribution area in the county level of Yunnan Province, biological characteristics, harmful degree to the environment, is it included in the list of 'the 100 worst alien invasive species in the world' and is it included in 'the list of four batches of alien invasive plant in China jointly issued by the State Environmental Protection Administration and the China Academy'. The four grade of alien invasive plants include 18 malignant, 23 serious, 188 general and 18 need to be observed species. The results show that the malignant and serious alien invasive plants have high stable biological characters consistency with Yunnan's alien invasive plants. The problem caused by alien invasive plants in Yunnan is very serious with the increase of human disturbance to the land. It is important to reduce the impact of invasive plants by understanding the biological characteristics and risk grade of alien invasive plants. The management ways of the alien invasive plants in Yunnan are also proposed through this study.

**Key words:** alien invasive plants，biological characteristics，diaspores，invasive grades，Yunnan

入侵植物（alien invasive plants）指能够在自然或半自然的生态系统中建立、繁殖，会改变或威胁到本地生物多样性的外来植物（IUCN，International Union for Conservation of Nature；Richardson et al，2000；李博等，2001）。随着全球气候暖化和人为干扰活动的增强，由人类介导的无意传播增加了繁殖体压力（propogule pressure）（Pauchard et al，2009；Kueffer et al，2010），使植物完成了更为有效的扩散，为外来植物的空间格局

变化提供了更多的可能性，促使入侵风险日益增加。

入侵植物的入侵性在一定程度上与物种生物学特征有关，主要表现在花果期较长、传粉机制有效、繁殖方式多样、繁殖效率高、较宽的生态适应幅度等（陈国奇等，2008；周兵等，2013；李正跃，2014；万方浩等，2015）。Baker（1965）归纳了一系列“理想杂草”（the ideal weed）的主要特点，即“贝克目录”（Baker’s list）（Baker，1974）。学者们一直致力于探索影响植物入侵性的普适性特征（李正跃，2014），探索满足“十数定律”（ten’s rule）（Williamson & Fitter，1996）的入侵植物具备的特殊性状（史刚荣和马成仓，2006），尤其是生物学性状（刘晓风和谭敦炎，2007；郝建华等，2010；Moravcová et al，2014）。传播体（diaspores）或繁殖体（propagule）是植物体繁殖的基本单位（杨逢建等，2007）。传播体的形态指标有果实类型、数量、重量、形状、种皮特征、附属结构、次生代谢物等（Pyšek & Richardson，2006；Kleyer et al，2008）。入侵植物具有多样性的生物学特征是为了更好地完成其扩散，特别是适应长距离传播（long-distance dispersal）（Nathan，2006；Nathan et al，2008）中最重要的传播媒介，即人类介导传播（human-mediated dispersal）（Wichmann et al，2009）。入侵植物繁殖体的表面结构特征和附属物，可以帮助其通过人类携带或取食（Mount & Pickering，2009；Wichmann et al，2009）、附着于交通工具（徐汝梅和叶万辉，2003；Zwaenepoel et al，2006；Moritz & Kowarik，2007）、动物的内携和外携（Pickering & Mount，2010；Ansong & Pickering，2014）等多种传播方式完成传播。很多学者根据入侵范围、生物学特性、产生的危害等指标对入侵植物的危害进行了风险等级划分（Liu et al，2006；丁莉等，2006；闫小玲等，2014；王宁等，2016），这对入侵植物的管控具有现实的意义。

云南省是全球35个生物多样性热点地区之一（Williams et al，2011），是全球山地生态系统的典型地区，然而，这也为外来植物提供了充足的适生区，为植物的入侵创造了条件。目前，前人已经开展了许多入侵植物的调查研究工作（Liu et al，2016；丁莉等，2006；陆树刚，2006；徐成东和陆树刚，2006；赵金丽等，2008；杨忠兴等，2014），然而，关于云南省入侵植物传播体的性状特征以及适应传播的机制却没有系统分析。本研究系统梳理云南省入侵植物的情况，分析主要生物学性状特征，划分风险等级，这将进一步揭示入侵植物的传播规律，为植物入侵的防控工作提供建议，同时也可为其它山地生态系统的植物入侵研究及管控提供参考。

## 1 研究方法

## 1.1 研究区概况

本研究以云南省（97°31'39"～106°11'47"E，24°08'32"～29°15'08"N）为研究区，全境面积 39.4 万 $km^2$，海拔梯度 76.4～6 740 m，地形地貌复杂，涵盖 7 种气候类型，兼具低纬、季风和山原气候特点。云南是通往南亚、东南亚的要塞，毗连三国，边境线总长 4 060 km，沿边共计 20 个国家级、省级口岸，20 余条出境公路（Li，2015；李正跃，2014）。

## 1.2 数据来源

### 1.2.1 云南入侵植物物种确定

本研究的入侵植物指在云南省境内通过自然或人为活动有意或无意引入，能自我繁殖与扩散，并对环境造成一定危害的非本土植物。通过甄选关键研究文献（张玉娟等，2004；丁莉等，2006；杜凡等，2006；管志斌等，2006；陆树刚等，2006；申时才等，2006；徐成东等，2006；徐成东和陆树刚，2006；胡发广等，2007；李乡旺等，2007；赵见明，2007；赵金丽等，2008；郭怡卿等，2010；王焕冲等，2010；陶川，2012；申时才等，2012; 杨忠兴等，2014；谷芸，2016；罗文等，2016）、图书资料（李嵘，2014）和数据库（中国外来入侵物种数据库 http://www.chinaias.cn/wjPart/index.aspx；中国农业有害生物信息系统 http://www.agripests.cn/base23.asp）等资料，统计、筛选得出云南省入侵植物名录，名录包含了入侵植物的拉丁名、中文名、别名、分类地位、原产地、物种用途和首次出现时间（或首份标本记录时间）等信息。其中，拉丁名、中文名、分类地位以《Flora of China》（http://foc.eflora.cn/）进行统一，原产地归类到物种起源的大洲，用途参考杨博（2010）的分类方法，首次出现时间的相关资料通过查询 1.2.2 中的信息源获取。

### 1.2.2 云南入侵植物性状选择及信息来源

根据前人的研究（刘长江等，2004；孟婷婷等，2007；杨博，2010；白帆，2012；朱金雷和刘志民，2012；张斯斯和肖宜安，2013；王宁等，2016；Weber et al，2008），选取了能反应入侵植物的入侵性且易于从文献等资料中获取的主要生物学性状，即生活型、繁殖方式、克隆类型、花果期、开花和结果持续时间、花色，果实/ 种子的类型、形状、颜色、大小、表面结构和附属物。入侵植物详尽的生物学性状与分类参考文献见表 1。

**表 1 入侵植物生物学性状的分类数量化和编码**

**Table 1 Classification and code of biological characteristics of alien invasive plants**

| 生物学性状<br>Biological characteristics | 指标与代码<br>Index and code | 参考文献<br>References |
|---|---|---|
| 生活型<br>life form | 一年生或短期多年生草本，水生植物，多年生草本，灌木，肉质植物，乔木，藤本<br>annual or short-lived perennial herb，aquatic plant，perennial herb，shrub，succulent，tree，vine or liana | Weber et al，2008 |
| 繁殖方式<br>mode of reproduction | 种子繁殖，克隆繁殖，种子繁殖和克隆繁殖<br>seed reproduction，clonal reproduction，seed reproduction and clonal reproduction | 张斯斯和肖宜安，2013 |
| 克隆类型<br>clonal form | 分蘖，根状茎，匍匐茎，断枝，不定根，根劈裂，宿根，珠芽，块茎，鳞茎，块根，球茎，不定芽，地下芽<br>tiller，rhizome，stolon，shoot fragment，adventitious root，root-splitter，perennial root，bulbil，tuber，bulb，tuberous root，corm，adventitious bud，underground bud | 王宁等，2016 |
| 花果期<br>time of flowering and fruit | 春，夏，秋，冬<br>spring，summer，autumn，winter | 杨博，2010 |
| 开花持续时间<br>length of flowering | 1~12 表示开花时间的持续月份；开花持续时间小于 5 个月 =短花期，5~6 个月=中花期，大于 6 个月=长花期<br>1~12 stands for the duration of flowering time; length of flowering less than 5 months = short flowering，5~6 months = medium flowering，more than 6 months = long flowering | 白帆，2012；张斯斯和肖宜安，2013 |
| 花色 color of flower | 橙色，黄色，蓝色，白色，红色，绿色，紫色，褐色<br>orange，yellow，blue，white，red，green，purple，brown | 张斯斯和肖宜安，2013 |

| 生物学性状<br>Biological characteristics | | 指标与代码<br>Index and code | 参考文献<br>References |
|---|---|---|---|
| 果实/种子<br>fruit or seed | 类型<br>type | 蒴果，瘦果，颖果，荚果，浆果，胞果，核果，蓇葖果，短角果，双悬果，小坚果，长角果<br>capsule，achene，caryopsis，legume，berry，utricle，drupe，follicle，silicle，cremocarp，nutlet，silique | 朱金雷和刘志民，2012 |
| | 形状<br>shape | 椭圆形，卵形，圆形，矩圆形，线形，倒卵形，三角形，线状三角形，倒三角形，菱形<br>elliptic，ovate，circular，oblong，linear，obovate，triangular，linear-triangular，obtriangular，rhombic | 刘长江等，2004 |
| | 颜色<br>color | 褐色，黄色，红色，白色，绿色，灰色，紫色，橙色，黑色<br>brown，yellow，red，white，green，gray，purple，orange，black | |
| | 大小<br>size | 果实：<1mm，1<x≤10mm，10<x≤20mm，···210<x≤220mm；种子：<1mm，1<x≤5mm，···15<x≤20mm<br>Fruit: <1mm，1<x≤10mm，10<x≤20mm，···210<x≤220mm; seed: <1mm，1<x≤5mm，···15<x≤20mm | |
| | 表面结构<br>surface structure | 棱，扁平，平滑，沟，喙，条纹，顶端尖，光泽，多皱，凹陷，瘤状，网纹，颗粒状，腺点，粗糙，乳头状，疣状，斑点，刺状，钩状，凹凸不平，孔穴<br>rib，flat，smooth，sulcate，beak，striate，apex tip，lucid，rugose，hollow，tuberculate，reticulate，granulate，gland，rough，papilliform，verrucate，punctate，aculeate，hook-like，concave-convex，foveate | 刘长江等，2004 |

通过查询上述文献资料和其它图书资料（李振宇和解炎，2002；徐海根和强胜，2004；解炎，2008；徐海根和强胜，2011；何家庆，2012；马金双，2014）与数据库（云南高等植物数据库 http://db.kib.ac.cn/eflora/View /plant/YNSpecies.aspx；中国西南野生生物种质资源库 http://www.genobank.org/；中国自然标本馆 http://www.cfh.ac.cn/；国家标本平台 http://www.nsii.org.cn/；中国植物图像库 http://www.plantphoto.cn/；植物通 http://www.zhiwutong.com/；物种 2000 中国节点 http://www.sp2000.cn/joaen/；植物园主题数据库 http://www.plantpic.csdb.cn；The Dispersal and Diaspore Database，http://www.seed-dispersal info；Seed Information Database（SID） http://data.kew.org/sid/；Global Invasive Species Database http://www.issg.org /database/welcome/；Invasive Species Compendium http://www.cabi.org/isc；Delivering Alien Invasive Species Inventories for Europe http://ec.europa.eu /environment/index_en.htm）得到入侵植物相关生物学信息。

### 1.2.3 入侵植物风险等级划分

在前人对入侵植物风险等级划分（闫小玲等，2014；王宁等，2016）的方法基础上，确定出一套适合的评价指标，整个指标体系评价总分为 100 分，按不同的权重对各级指标赋予不同的分值。通过对云南省入侵植物分布的县（市、区）的数量（35 分）、生物学性状（20 分）、对环境的危害程度（35 分）、是否列入“世界 100 种危害最严重的入侵种名单”（5 分）、是否列入“国家环保总局和中国科学院联合发布的四批中国外来入侵物种名单”（5 分）5 个一级指标进行赋值，把入侵植物划分成四个等级：1 级，恶性入侵植物；2 级，严重入侵植物；3 级，一般入侵植物；4 级，有待观察类。其中，入侵植物的分布情况以云南省 129 个行政县（市、区）为单位，入侵植物的分布和对环境危害程度的数据来源于上述查询物种信息的文献、图书资料和数据库。

# 2 结果与分析

## 2.1 云南入侵植物的物种组成

本研究共收集到云南入侵植物 247 种，隶属 51 科、149 属（详见附录）。其中黑荆（*Acacia mearnsii*）、白茅（*Imperata cylindrical*）、马樱丹（*Lantana camara*）、银合欢（*Leucaena leucocephala*）属于世界 100 种危害最严重的入侵种（Luque et al，2014），有 32 种出现在中国外来入侵物种名单中。

云南省入侵植物中，菊科（45 种，占 18.22%）数量最多，其次为禾本科（14.98%）

和豆科（13.77%）（图 1）。以属进行分析，决明属最多，其次是茄属，大戟属、黑麦草属和苋属位居第三（图 2）。

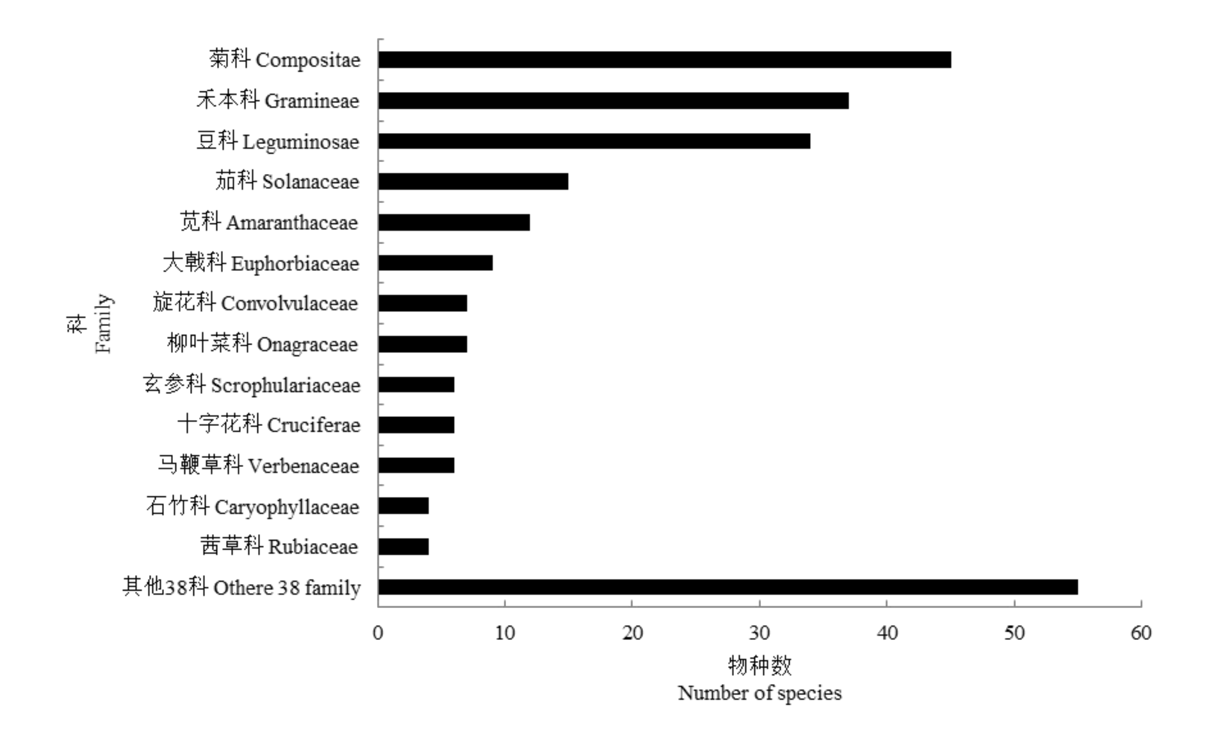



**图 1 云南入侵植物科的物种数量分布**

**Fig.1 Number of alien invasive plants in different families in Yunnan**

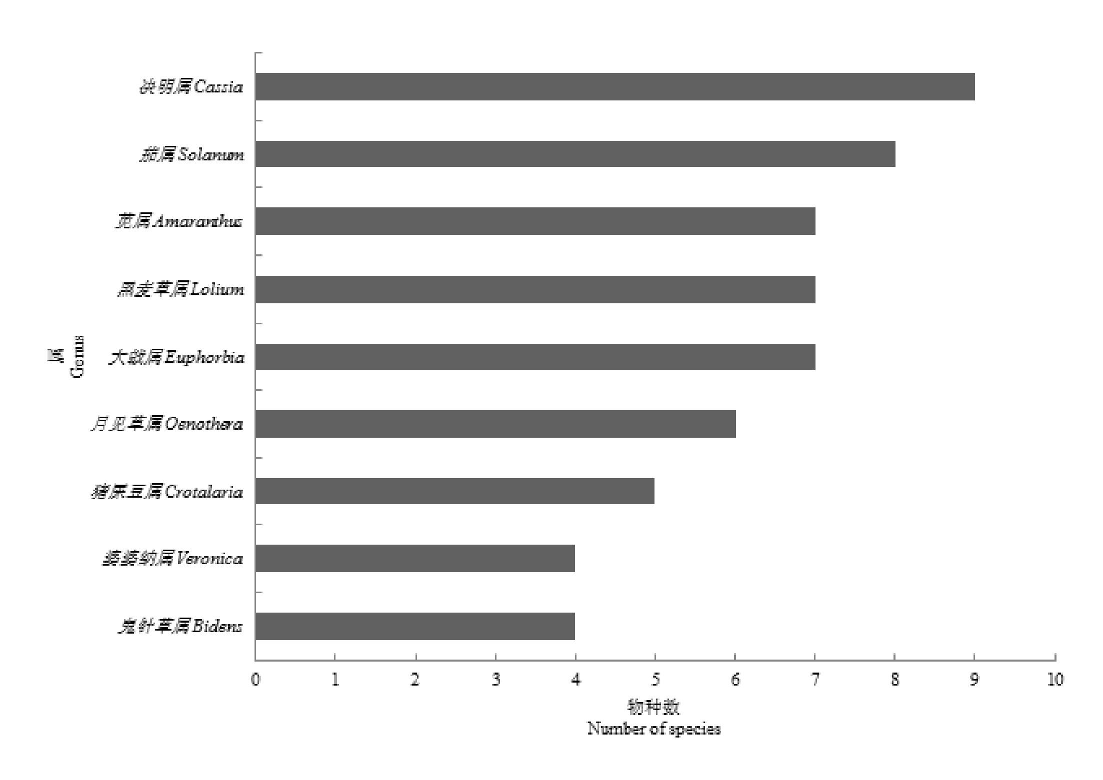



**图 2 云南入侵植物属的物种数量分布**

**Fig.2 Number of alien invasive plants in different genus in Yunnan**

## 2.2 云南入侵植物的原产地

云南 247 种入侵植物中，超过半数的物种来源于美洲，其次是亚洲、欧洲和非洲，原产大洋洲的仅有 2 种（图 3）。

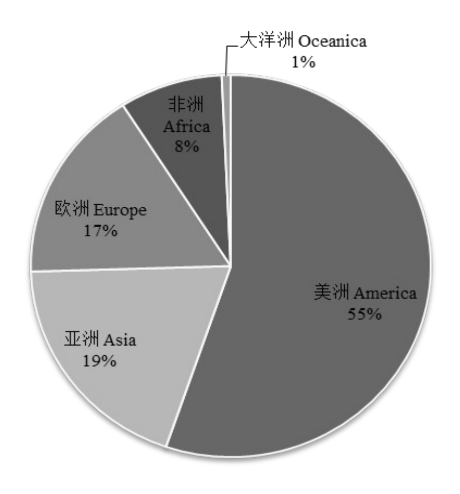



**图 3 云南入侵植物原产地的物种数量分布**

**Fig.3 Number of alien invasive plants in geographical origins in Yunnan**

注：部分植物有多于 1 个的原产地。

Note: Some species may originate from several continents.

## 2.3 云南入侵植物的生物学性状

### 2.3.1 入侵植物生活型

生活型以一年生或短期多年生草本（54.66%）为主，其次是多年生草本和灌木，水生植物只有 1 种（图 4）。

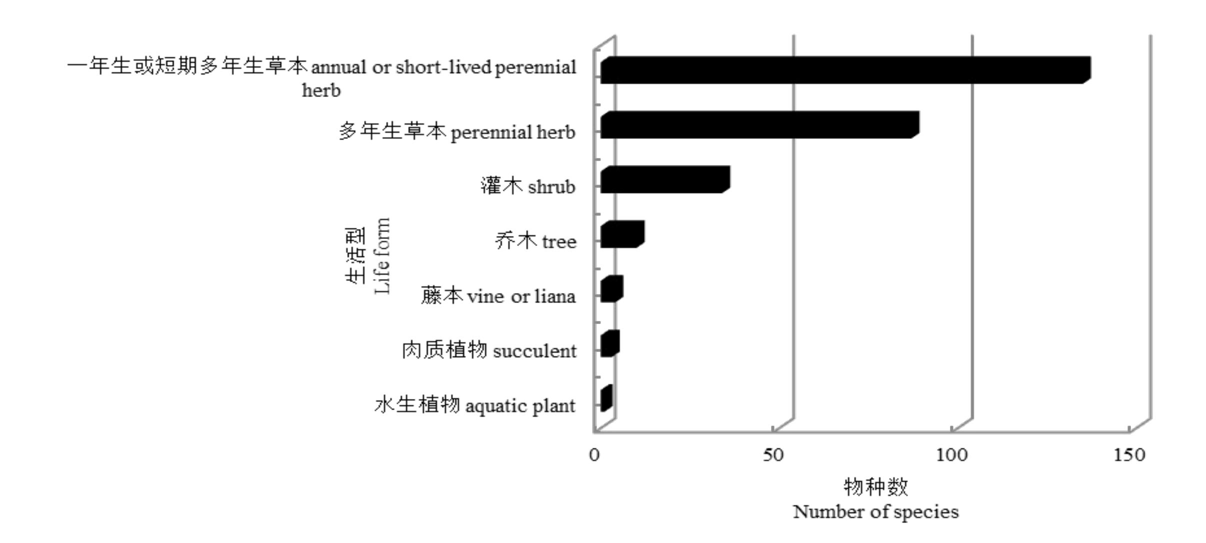



**图 4 云南入侵植物生活型的物种数量分布**

**Fig.4 Number of alien invasive plants in life form in Yunnan**

注：部分植物兼具多种生活型。

Note: Some species have multiple life form.

### 2.3.2 繁殖类型及特点

繁殖方式为种子繁殖的有 143 种（占 57.89%），只有喜旱莲子草（*Alternanthera philoxeroides*）（由于该物种的花粉萌发率很低，结籽率低或不结籽，其入侵主要依靠克隆繁殖（刘大胜等，2008），所以本研究中不考虑其种子繁殖）和落葵薯（*Anredera cordifolia*）为克隆繁殖，其余的 102 种兼具了两种繁殖方式。克隆繁殖的类型中，分蘖型和根状茎型占比最多，其次是匍匐茎型和断枝型（图 5）。

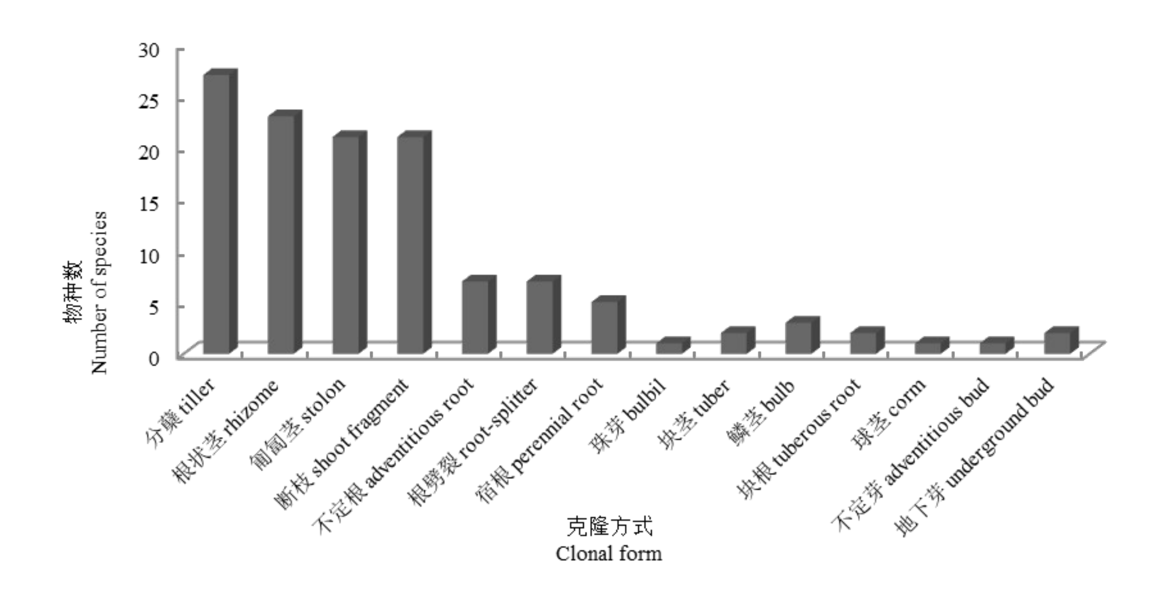



**图 5 云南入侵植物几种典型克隆方式的数量**

**Fig.5 Number of alien invasive plants in primary clonal forms in Yunnan**

注：部分植物具有多种克隆方式。

Note: Some species have multiple clonal organs.

入侵植物花的颜色以黄色为主，其次是白色、绿色和红色等（图 6）。开花时间和结果时间变化一致，均集中于夏秋两季，冬季较少。大部分入侵植物的开花时间可持续 3 个月，属于短花期。

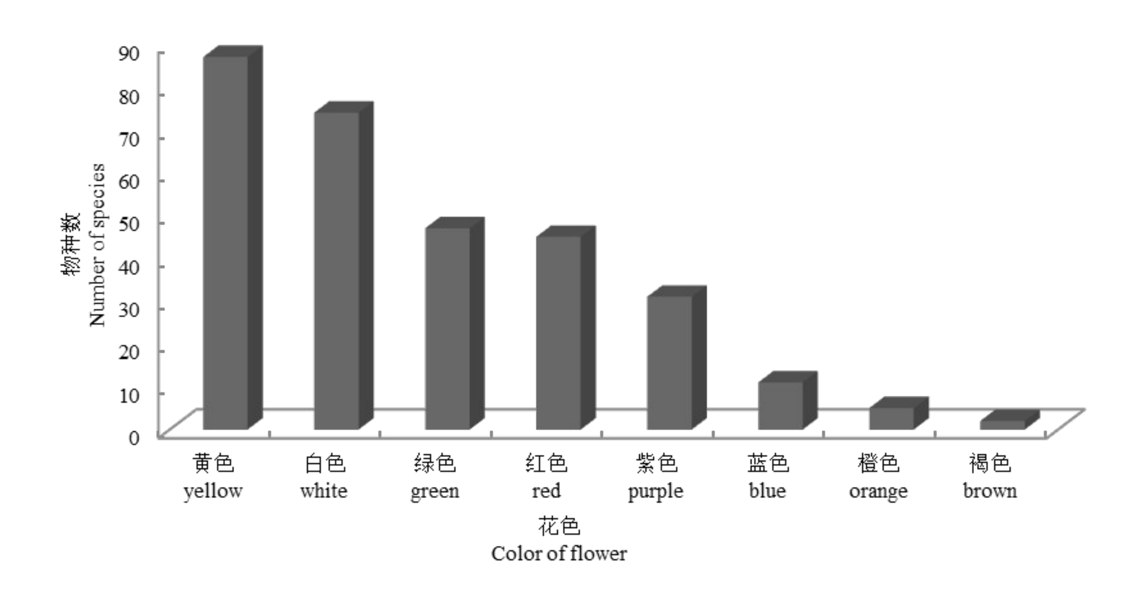



**图 6 云南入侵植物不同花色的物种数量**

**Fig.6 Number of alien invasive plants in different colors in Yunnan**

注：部分植物的果实和种子具有多种颜色。

Note: Some species have a variety of colors.

### 2.3.3 传播体特征

如图 7 所示，繁殖体的主要类型为蒴果、瘦果、颖果、荚果和浆果，短角果、双悬果、小坚果和长角果最少。果实和种子的颜色大体一致，主要为黑色和褐色，其次是红色和黄色（图 8）。果实的形状最多为椭圆形、卵形和圆形，其次是圆柱形和倒卵形；种子的形状以卵形、圆形、肾形和椭圆形为主（图 9）。

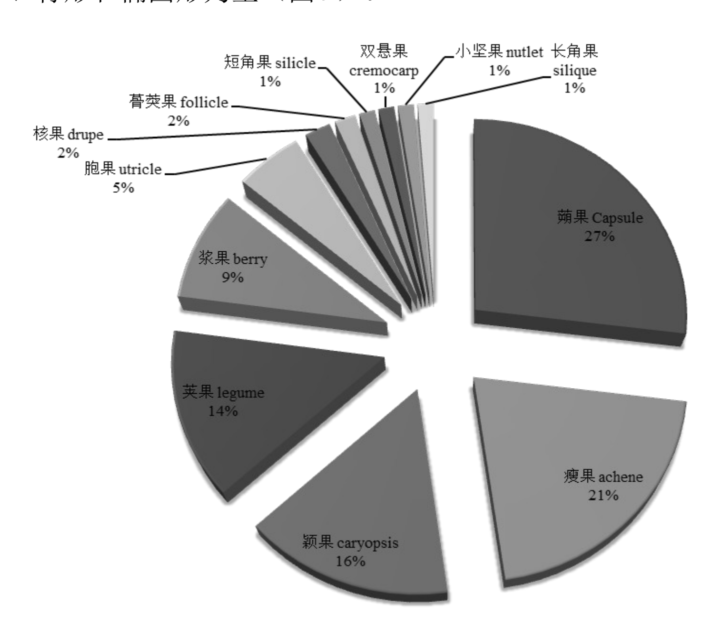



**图 7 云南入侵植物果实类型的物种数量分布**

**Fig.7 Number of alien invasive plants in different type of fruits in Yunnan**

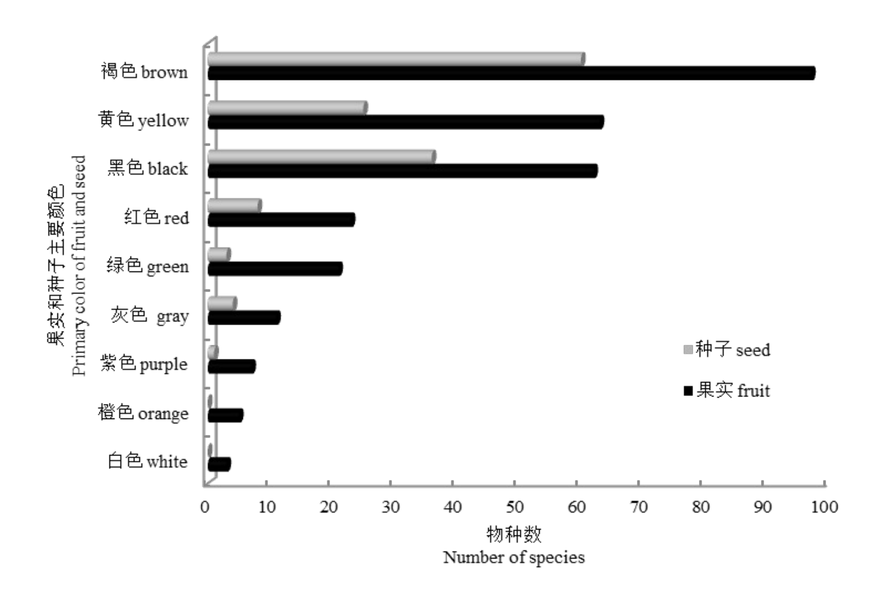



图 8 云南入侵植物果实和种子主要颜色的物种数量

**Fig.8 Number of alien invasive plants in the primary color of fruit and seed in Yunnan**

注：部分植物的果实和种子具有多种颜色。

Note: Some species have a variety of colors.

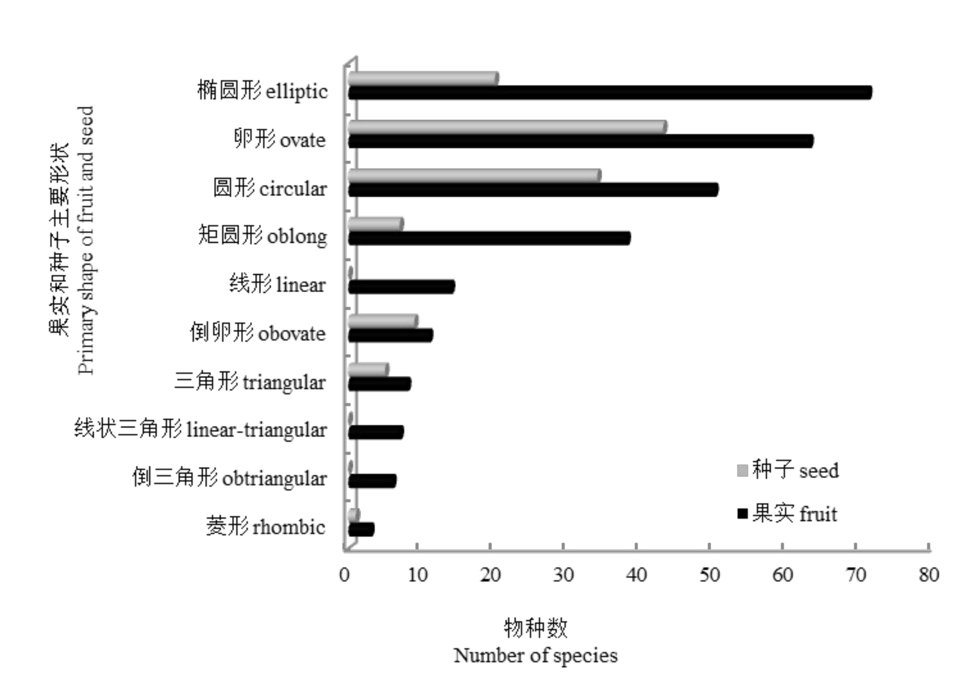



图 9 云南入侵植物果实和种子主要形状的物种数量

**Fig.9 Number of alien invasive plants in primary shape of fruit and seed in Yunnan**

注：部分植物的果实和种子具有多种形状。

Note: Some species have a variety of shapes.

果实和种子的长和宽变化趋于一致，果实的主要集中于 1-10mm（图 10），种子的均

在 1-5mm 内出现最大值（图 11）。

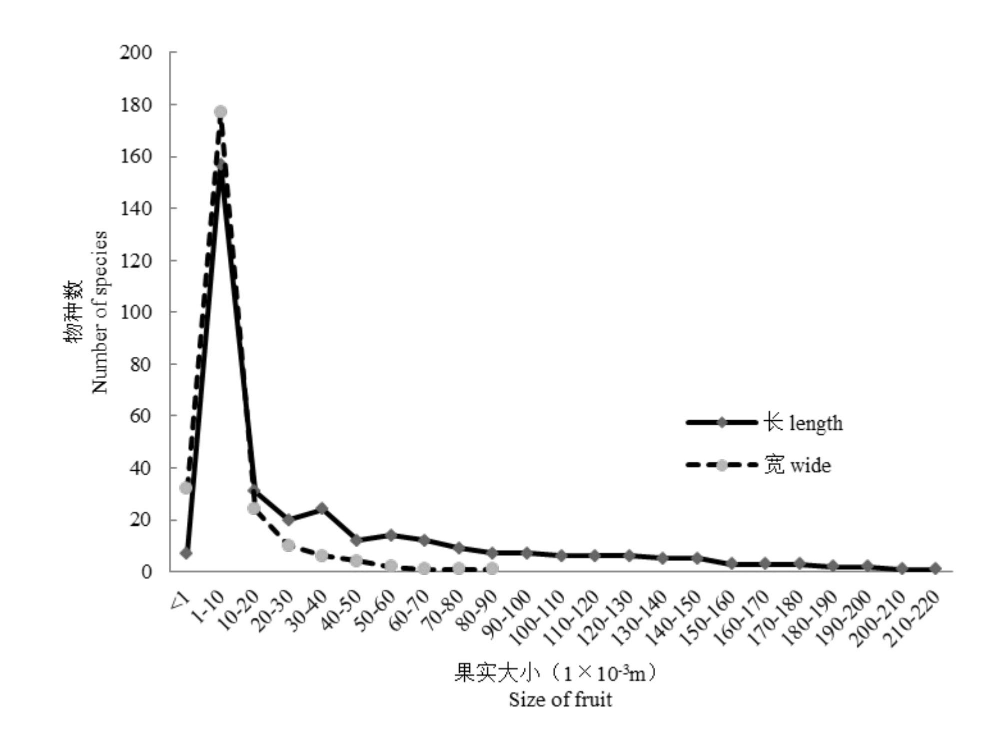



**图 10 云南入侵植物果实大小的物种数量**

**Fig.10 Number of alien invasive plants in fruit size in Yunnan**

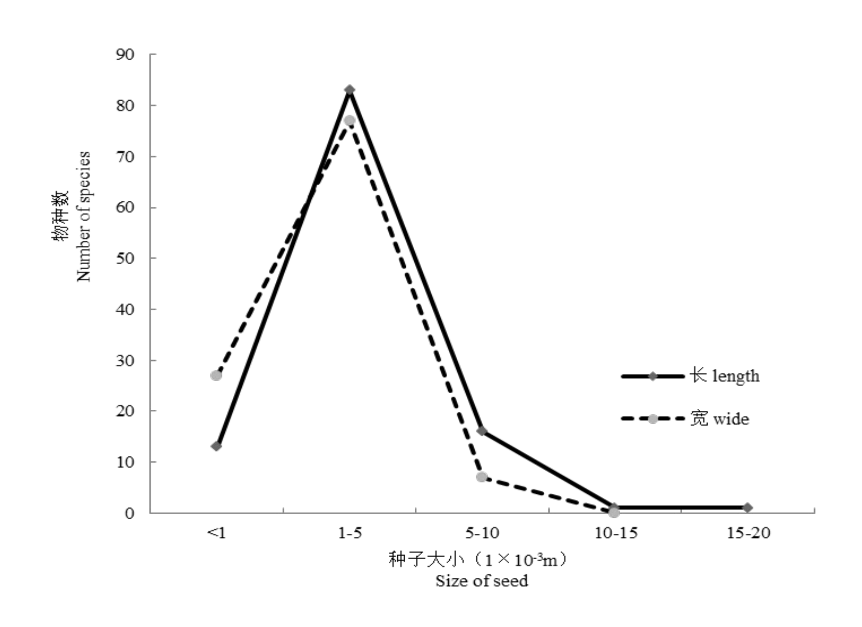



**图 11 云南入侵植物种子大小的物种数量**

**Fig.11 Number of alien invasive plants in seed size in Yunnan**

入侵植物果实的表面特征主要体现在有棱、扁平、光滑、有沟、有喙、有条纹、顶端尖和有光泽等，种子的表面特征主要体现在有光泽、光滑、扁平、有棱和有网纹等（图 12）。果实的

附属物主要有芒、短柔毛、外稃、内稃、冠毛、刚毛、糙伏毛、直刺、茸毛和翅等；种子的附属物较少，有毛状体、翅、刺、油质体和粘液等（图 13）。

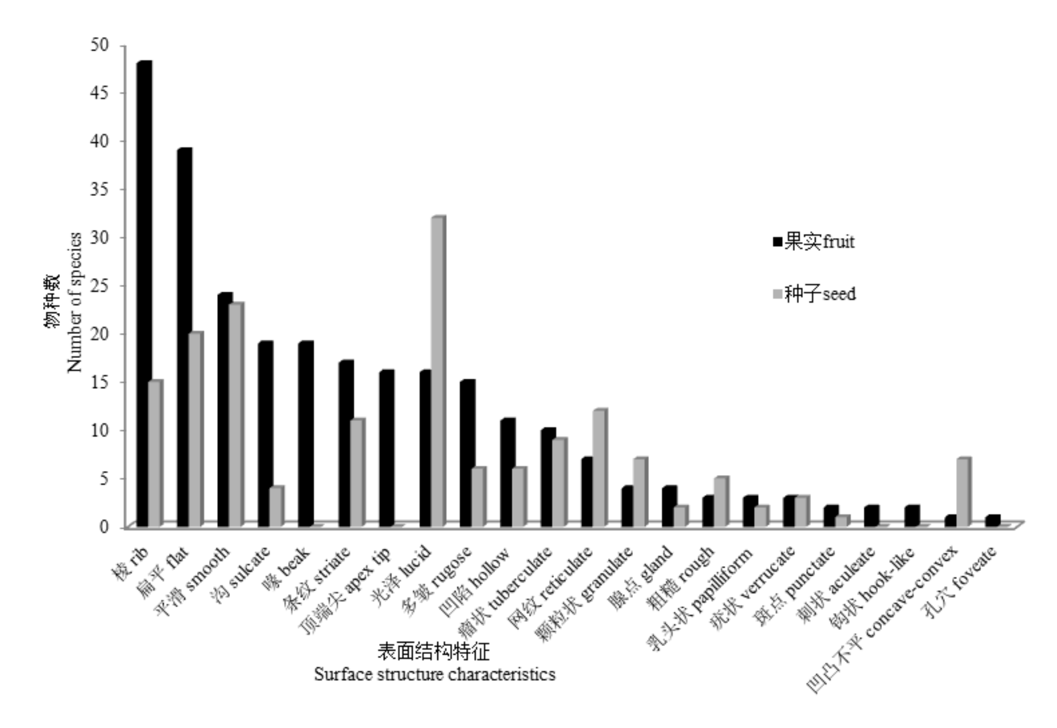



**图 12 云南入侵植物果实和种子表面结构特征的物种数量分布**

**Fig.12 Number of alien invasive plants in structure characteristics of surface on fruit and seed in Yunnan**

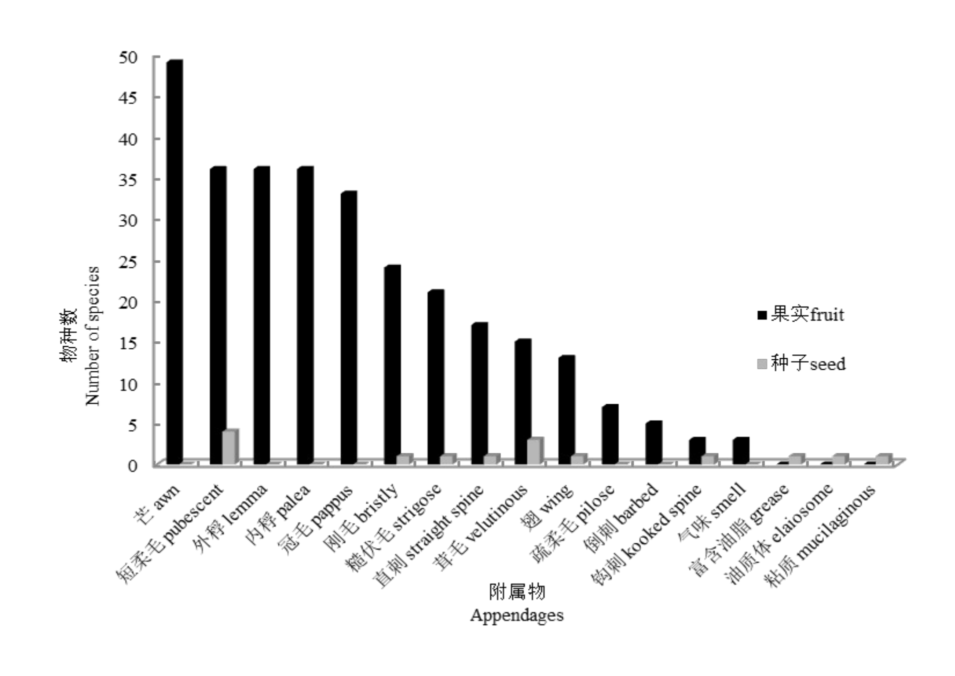



**图 13 云南入侵植物果实和种子附属物的物种数量分布**

**Fig.13 Number of alien invasive plants in appendages of fruit and seed in Yunnan**

# 3 结论与讨论

## 3.1 云南入侵植物的组成

本研究整理统计出云南省共有247种入侵植物。从科的层面进行分析，科的主体构成与Jaryan等（2013）、闫晓玲等（2014）和王宁等（2016）的研究是相吻合的，即以菊科、禾本科和豆科为主。究其原因可能是：（1）菊科、禾本科和豆科有特殊的生长和繁殖特性（王宁等, 2016），如具有繁殖率高和抗干扰能力强等特点（李博等，2001；杨逢建等，2007；Moravcová et al，2014）；（2）很多入侵植物是通过引种传入的，这几个科通常因其观赏、药用或生态价值而引入，此外，这些科的传播体也容易混入其它植物种子或货物中造成无意引入；（3）入侵植物的主体科也是世界最为广布的科，如菊科是双子叶植物中种类最多的科（张斯斯和肖宜安，2013）。云南入侵植物属的主体构成与多位研究者的结果也具有相似性（Khuroo et al，2007；闫晓玲等，2014）。

## 3.2 云南入侵植物的起源特征

云南的入侵植物大部分来源于美洲，这与Khuroo等（2007）和Kosaka等（2010）的研究结果一致。其原因可能有：（1）根据大陆漂移学说，东亚和北美是被子植物形成之后才分离的，原产美洲的植物在云南成为入侵种的可能性较大（罗文等，2016）；（2）美洲的大部分地区和云南省大部分地区均处于亚热带，气候差异较小，促使外来植物更易成功定殖（李博和陈家宽，2002；罗文等，2016）；（3）我国与美洲的物质和人口流通较大，促进了外来植物的传播。

## 3.3 云南入侵植物的生物学性状

### 3.3.1 入侵植物的生活型

在云南省入侵植物中，超过一半是一年生或短期多年生草本，约35%的为多年生草本，即约90%的入侵种属于草本。草本植物占较大比重是入侵植物生活型组成的普遍情况（Jaryan et al，2013），因为这类植物通常具有r-选择的生活史对策，其生命周期较短、繁殖能力强，在传入后可较快地适应不同生境并成功入侵（Kolar et al，2001；Ricklefs et al，2008）。

### 3.3.2 入侵植物的繁殖特点

入侵植物多样化的繁殖方式对其扩散具有极其重要的意义（王宁等，2016）。种子繁

殖可以通过外部结构的保护、休眠等帮助植物繁殖体度过不良环境，也可以在表面结构特征的诱导或辅助下，通过动物的取食、携带和其它移动物体的粘附等完成有效的长距离传播。克隆繁殖可以通过分株生长扩大生境范围（刘建等，2010；王宁等，2016），加大了植物扩散和建群的几率（史刚荣和马成仓，2006；Liu et al，2006），比起种子繁殖其繁殖成本较低（Doust，1981）。云南的入侵植物以种子繁殖为主要繁殖方式，还有近一半的植物兼具两种繁殖方式，这与张斯斯和肖宜安（2013）对中国入侵植物的研究结果一致，体现了云南入侵植物高效的繁殖策略。王宁等（2016）对中国入侵植物的克隆繁殖方式进行了分析，结果表明，根状茎、匍匐茎和分蘖型是所占比重较大的类型，这也支持了本研究的结论。

夏秋两季是植物花果期的集中时段，云南 6-11 月的水热条件较好，能保证植物的营养生长和繁殖体的质量，其次，这个时期内实现有效传播的几率大。入侵植物花的颜色往往给传粉者提供视觉信号，从而促进传粉或觅食，如蜜蜂对黄花具有选择性（赵昶灵等 2005；汤晓辛和黄双全，2012）。

### 3.3.3 入侵植物的繁殖体特征

繁殖体的类型、颜色、形状、大小、表面结构和附属物作用于取食者、携带者和自然传播条件等。果实类型影响着传播方式（彭德力等，2012），蒴果、瘦果、颖果和荚果等是云南入侵植物的主要果实类型，都属于单果中的干果，对自然和人为介导的多途径扩散具有广泛的适应性；分布于云南北热带、南亚热带的肿柄菊（*Tithonia diversifolia*）、藿香蓟（*Ageratum conyzoides*）、紫茎泽兰（*Eupatorium adenophorum*）和飞机草（*Eupatorium odoratum*）等，果实均为带冠毛的瘦果，产量极高，可通过风、水、交通工具等途径传播（王四海等，2008；赵金丽等，2008）。果实/种子的颜色是为了适应取食者和其它传播者的选择偏好。椭圆形、卵形、圆形是入侵植物果实和种子的常见形状，有利于自然扩散，对取食者也有更好的适口性。

小种子的产出数量通常较多，个体的定殖机会大，且更容易形成土壤种子库（杨逢建等，2007；万方浩等，2015）；大种子的生物量较大，在资源短缺、存在天敌和竞争者的环境中具有优势（万方浩等，2015）。通常情况下，入侵植物更多的采取 r-生存对策（陈国奇等，2008）。在云南临沧地区入侵危害严重的薇甘菊（*Micania micrantha*），能产生难以计数的微尘种子，以此适应气流等传播（丁莉等，2006）。小蓬草（*Conyza canadensis*）、苏门白酒草（*Conyza sumatrensis*）、香丝草（*Conyza bonariensis*）和牛膝菊（*Galinsoga parviflora*）等，也是由于其种子体积小、产量大、存活时间长，能够较快形成优势群落（徐

成东和陆树刚，2006；郝建华等，2010）。

繁殖体的表面结构使植物便于适应多种传播途径，如拟态容易造成无意识的混种，完成长距离的扩散，假高粱（*Sorghum halepense*）和毒麦（*Lolium temulentum*）就是作物引种或进口粮食时混入的（徐成东和陆树刚，2006）。云南247种入侵植物中，超过60%的物种其传播体具有附属物，很多物种兼备多种附属物。果实/种子有冠毛、质轻、有翅等，可以更好地适应风传播，藿香蓟、飞机草和银胶菊（*Parthenium hysterophorus*）等的传播体就是从缅甸或中南半岛顺着西南季风传到云南的（徐成东和陆树刚，2006）。植物的芒、刺、钩或粘液等是植物为适应动物传播而进化出来的一系列特征（李儒海和强胜，2007；白成科等，2013），同时也是对移动交通工具进行粘附从而完成长距离传播的重要因素（Lippe & Kowarik，2012；Ansong & Pickering，2013）。

## 3.4 云南入侵植物的风险等级

将云南省入侵植物风险划分为四个等级，其中恶性入侵植物有18种，严重入侵植物有23种，一般入侵植物有188种，有待观察类有18种（详见附录）。恶性和严重入侵植物中，菊科、禾本科、茄科和旋花科是优势科，鬼针草属和白酒草属是优势属，美洲是最大的原产地。生物学特征主要表现为：一年生或短期多年生草本和多年生草本的生活型；兼具种子和克隆繁殖的繁殖方式；匍匐茎、分蘖、根状茎和断枝型的克隆类型；花色为白与黄；果实类型为瘦果和蒴果；果实和种子为黑色、褐色和黄色；形状为椭圆形、圆形和卵形；果实长度集中于1-10mm和10-20mm，果实宽度集中于<1mm和1-10mm，种子的长与宽集中于<1mm和1-5mm，表面结构为有棱、扁平、沟、条纹、光泽和多皱等，附属物为冠毛、芒、短柔毛、内稃、外稃和茸毛等。总体来看，云南恶性和严重入侵植物与全体入侵植物的主要生物学性状表征具有一致性。

# 4 云南入侵植物的防控

首先，需要完善和强化检疫工作，如加强对菊科、禾本科和豆科的引种监管，对美洲的植物引种和货物进行严格审查；其次，研究入侵植物的入侵机理与资源化利用，如开发入侵植物的生物质能等；此外，结合入侵植物的生物学特点和风险等级开展防治，特别留意具有特殊传播结构的植物，对粘附在衣物、交通工具和伴随动物等的传播体做好清除工作；最后，加强宣传教育，提高公众对入侵植物的鉴别力，实现自觉参与减少外来植物的传播维护云南省的生态安全，也维护了中国的生态安全。

繁殖体时期是入侵植物生长周期的特殊阶段，对种群拓展生存空间起着十分关键的价值。然而，入侵植物繁殖体的生物学性状特征较为复杂，难以进行完全的统一量化分析。果实/种子的重量分析、传播体适应各种传播途径的模型研究、在繁殖体生物学性状研究的基础上分析物种的长距离传播和二次传播等问题是今后研究应该关注的方向。本研究的入侵物种数据仅限于资料查询研究，没有进行实际调查，因此难免会造成数据的不完整、不全面，另外，部分入侵植物属于农田常见杂草，具有食用或药用价值，且对环境产生的危害有限，将其归并为入侵植物尚且有待商榷。今后可在全省范围内针对此类问题通过统一的方法和内容调查，得到更为全面和完整的数据，从而为入侵植物的防治提供更为详实的依据。

**参考文献**

ANSONG M， PICKERING C， 2013. Are weeds hitchhiking a ride on your car? A systematic review of seed dispersal on cars[J]. PLoS ONE， 8(11)：e80275.

ANSONG M， PICKERING C， 2014. Weed seeds on clothing: A global review[J]. J Environ Manage， 144：203-211.

BAI CK， CAO B， LI GS， 2013. Correlations of plant seed dispersal pattern with genome size and 1000-seed mass[J]. Chin J Ecol， 32(4)：832-837. [白成科， 曹博， 李桂双， 2013. 植物种子传播途径与基因组值和千粒重的相关性[J].生态学杂志， 32(4)：832-837.]

BAI F， 2012. The spatial pattern and risk analysis of alien invasive plants in China[D]. Beijing：University of Chinese Academy of Sciences：28-29.[白帆， 2012. 中国外来入侵植物空间格局和入侵风险分析[D]. 北京：中国科学院大学：28-29.]

BAKER HG ， 1965. Characteristics and modes of origin of weeds. In: BAKER HG， STEBBINS GI(eds.)， The genetics of colonizing species[M]. New York：Academic Press：147-172.

BAKER HG， 1974. The evolution of weeds[J]. Annu Rev Ecol Syst， 5：1-24.

CHEN GQ， GUO SL， YIN LP， 2008. Canonical correspondence analysis of relationship between botanical characters of exotic weeds and their environmental factors[J]. J Zhejiang Univ (Agric & Life Sci)， 34(5)：571-577. [陈国奇， 郭水良， 印丽萍， 2008. 外来入侵种生物学性状和环境因子间关系的典范对应分析[J]. 浙江大学学报农业与生命科学版， 34(5)：571-577.]

DING L， DU F， ZAHNG DC， et al, 2006. A study of alien invasive plant in Yunnan

Province[J]. J West Chin For Sci，35(4)：98-103. [丁莉，杜凡，张大才，等,2006. 云南外来入侵植物研究[J]. 西部林业科学，35(4)：98-103.]

Doust L L，1981. Population dynamics and local specialization in a clonal perennial (anunculus repens)：I. The dynamics of ramets in contrasting habitats[J]. J Ecol，69(3)：743-755.

DU F，YANG MY，LI JQ，et al, 2006. A review of Mikania and the impact of M.micrantha (Asteraceae) in Yunnan [J]. Acta Bot Yunnan，28(5)：505-508. [杜凡，杨宇明，李俊清，等,2006. 云南假泽兰属植物及薇甘菊的危害[J]. 植物分类与资源学报，28(5)：505-508.]

GUAN ZB，DENG WH，HUANG ZL，et al, 2006. A preliminary investigation on the alien invasive plants in Xishuangbanna[J]. Trop Agr Sci Technol, 29(4)：35-38. [管志斌，邓文华，黄志玲，等,2006. 西双版纳外来入侵植物初步调查[J]. 热带农业科技，29(4)：35-38.]

GUO YQ，ZHAO GJ，CHEN Y，et al, 2010. Infestation of invasive weed in crop filed in Yunnan[J]. Southwest Chin J Agr Sci，23(4)：1352-1355. [郭怡卿，赵国晶，陈勇，等, 2010. 云南农田外来杂草及其危害现状[J]. 西南农业学报，23(4)：1352-1355.]

GU Y，2016. Investigation on the distribution of alien invasive species in Dehong [J]. J Anhui Agr Sci，(7)：140-141. [谷芸，2016. 德宏州外来入侵生物的分布调查[J]. 安徽农业科学，(7)：140-141.]

HAO JH，QIANG S，DU KN，et al, 2010. Wind-dispersed traits of cypselas in ten Asteraceae alien invasive species[J]. J Plant Ecol，34(8)：957-965. [郝建华，强胜，杜康宁，等, 2010. 十种菊科外来入侵种连萼瘦果风力传播的特性[J]. 植物生态学报，34(8)：957-965.]

HE JQ，2012. Exotic plants in China[M]. Shanghai：Shanghai Scientific and Technical Publishers: 1-724. [何家庆，2012. 中国外来植物[M]. 上海：上海科学技术出版社：1-724.]

HU FG，DUAN CF，LIU GH，2007. Investigation of alien invasive weed in farmland of Nujiang Dry Hot Area in Yunnan Province[J]. Seed Sci，(4)：20-23. [胡发广，段春芳，刘光华，2007. 云南怒江干热河谷区农田外来入侵杂草的调查[J]. 杂草科学，(4)：20-23.]

JARYAN V，UNIYAL SK，GUPTA RC，2013. Alien flora of indian Himalayan state of Himachal radesh[J]. Environ Monit Assess，185：6129-6153.

KHUROO AA，RASHID I，RESHI Z，et al, 2007. The alien flora of Kashmir Himalaya[J].

Biol Invasions，9(3)：269-292.

KLEYER M， BEKKER RM， KNEVEL IC， et al, 2008. The LEDA traitbase: A database of life-history traits of Northwest European flora[J]. J Ecol，96：1266–1274.

KOLAR， CYNTHIA S， LODGE， et al, 2001. Progress in invasion biology: predicting invaders[J]. Trend Ecol Evolut，16(4)：199.

KOSAKA Y， SAIKIA B， MINGKI T， et al, 2010. Roadside distribution patterns of invasive alien plants along an altitudinal gradient in Arunachal Himalaya, India[J]. Mt Res Dev，30(3)：252-258.

KUEFFER C， DAEHLER CC， TORRES-SANTANA CW， et al, 2010. A lobal comparison of plant invasions on oceanic islands[J]. Perspect Plant Ecol Evol Syst，12(2)：145-161.

LI B， CHEN JK， 2002. Ecology of biological invasions: achievements and challenges [J]. World Sci-tech Res Dev，24(2)：26-36. [李博，陈家宽，2002. 生物入侵生态学：成就与挑战[J]. 世界科技研究与发展，24(2)：26-36.]

LI B， XU BS， CHEN JK， 2001. Perspectives on general trends of plant invasions with special reference to alien weed flora of Shanghai[J]. Biodivers Sci，9(4)：446-457. [李博，徐炳声，陈家宽，2001. 从上海外来杂草区系剖析植物入侵的一般特征[J]. 生物多样性，9(4)：446-457.]

LI R， 2014. Illustrated handbook of wetland invasive alien plants in Yunnan[M]. Yunnan：Yunnan Science and Technology Press：1-105. [李嵘，2014. 云南湿地外来入侵植物图鉴[M]. 云南：云南科技出版社：1-105.]

Li R， Kraft NJ， Yang J， et al, 2015. A phylogenetical.ly informed delineation of floristic regions within a biodiversity hotspot in Yunnan, China[J]. Sci Rep，5(5)：9396.

LI RH， QIANG S， 2007. Progresses and prospects in research of weed seed dispersal[J]. Acta Ecol Sin，27(12)：5361-5370. [李儒海，强胜，2007. 杂草种子传播研究进展[J]. 生态学报，27(12)：5361-5370.]

LI XW， HU ZH， HU XL， et al, 2007. A preliminary study on the exotic invasive plants in Yunnan Province [J]. J Southwest For Coll，27(6)：5-10. [李乡旺，胡志浩，胡晓立，等, 2007. 云南主要外来人侵植物初步研究[J]. 西南林业大学学报，27(6)：5-10.]

LI ZY， XIE Y， 2002. Alien invasive species in China[M] . Beijing：China Forestry Publishing House：1-211. [李振宇，解炎，2002. 中国外来入侵种[M] . 北京：中国林业出版社：1-211.]

LI ZY， 2014. Prevention and management for invasive alien species in Yunnan[M]. Beijing：Science Press：12-253. [李正跃， 2014. 云南外来入侵生物预防与控制[M]. 北京：科学出版社：12-253.]

LIPPE MVD， KOWARIK I， 2012. Interactions between propagule pressure and seed traits shape human-mediated seed dispersal along roads[J]. Perspect Plant Ecol Evol & Syst， 14(2)：123-130.

LIU CJ， LIN Q， HE JX， 2004. Methods and terminology of study on seed morphology from China[J]. Acta Bot Boreali-Occidentalia Sin， 24(1)：178-188. [刘长江， 林祁， 贺建秀， 2004. 中国植物种子形态学研究方法和术语[J]. 西北生物学报， 24(1)：178-188.]

LIU DS， ZHANG XJ， CHANG GL， et al, 2008. Detection on pollen morphology and viability of alien invasive species Alternanthera philoxeroides[J]. J Anhui Agr Sci， 36(35)：15447-15448. [刘大胜， 张学杰， 常光玲， 等,2008. 外来入侵物种空心莲子草花粉形态及生活力测定[J]. 安徽农业科学， 36(35)：15447-15448.]

LIU J， DONG M， MIAO SL， et al, 2006. Invasive alien plants in China: role of clonality and geographical origin[J]. Biol Invasions, 8(7)：1461-1470.

LIU J， LI JM， YU H， et al, 2010. The relationship between functional traits and invasiveness of alien plants[J]. Biodivers Sci， 18(6)：569-576. [刘建， 李钧敏， 余华， 等,2010. 植物功能性状与外来植物入侵[J]. 生物多样性， 18(6)：569-576.]

LIU XF， TAN DY， 2007. Diaspore characteristics and dispersal startegies of 24 ephemeral species of Brassicaceae in the junggar desert of China[J]. J Plant Ecol， 31(6)：1019-1027. [刘晓风， 谭敦炎， 2007. 24 种十字花科短命植物的扩散体特征与扩散对策[J]. 植物生态学报， 31(6)：1019-1027.]

LU SG， XU CD， DONG XD， et al, 2006. The impacts of the alien invasive plants on biodiversity in longitudinal range-gorge region of southwest China [J]. Plant Divers Resour， 28(6)：607-614. [陆树刚， 徐成东， 董晓东， 等,2006. 中国西南纵向岭谷区外来入侵植物对生物多样性的影响[J]. 植物分类与资源学报， 28(6)：607-614.]

LUO W， HE SR， ZHOU P， et al, 2016. Species composition and origin range of farmland weeds frequently observed in Kunming, Yunnan[J]. Weed Sci， 34(1)：36-42. [罗文， 何澍然， 周平， 等,2016. 云南昆明地区常见农田杂草种类组成与原产地研究[J]. 杂草科学， 34(1)：36-42.]

MA JS， 2014. The survey reports on Chinese alien invasive plants[M]. Beijing： Higher Education Press：1-951. [马金双， 2014. 中国外来入侵植物调研报告[M]. 北京：高等教育出版社：1-951.]

MENG TT， NI J， WANG GH， 2007. Plant funcyional traits, environments and ecosystem functioning[J]. J Plant Ecol，31(1)：150-165. [孟婷婷， 倪健， 王国宏， 2007. 植物功能性状与环境和生态系统功能[J]. 植物生态学报，31(1)：150-165.]

MORAVCOVá L， PYŠEK P， JAROŠíK V， et al, 2014. Getting the right traits: reproductive and dispersal characteristics predict the invasiveness of herbaceous plant species[J]. PLoS ONE，10(4)：e0123634.

MORITZ VDL， KOWARIK I， 2007. Long-distance dispersal of plants by vehicles as a driver of plant invasions[J]. Conserv Biol， 21(4)：986-996.

MOUNT A， PICKERING CM， 2009. Testing the capacity of clothing to act as a vector for non-native seed inprotected areas[J]. J Environ Manage， 91：168-179.

NATHAN R. 2006. Long-distance dispersal of plants[J]. Science， 313(5788)：786-788.

NATHAN R， SCHURR FM， SPIEGEL O， et al, 2008. Mechanisms of long-distance seed dispersal[J]. Cell， 23(11)：638-647.

PAUCHARD A， KUEFFER C， DIETZ H， et al, 2009. Ain't no mountain high enough: plant invasions reaching new elevations[J]. Front Ecol Environ， 7(9)：479-486.

PENG DL， ZHANG ZQ， NIU Y， et al, 2012. Advances in the studies of reproductive strategies of alpine plants [J]. Biodivers Sci， 20(3)：286-299. [彭德力， 张志强， 牛洋， 等,2012. 高山植物繁殖策略的研究进展[J]. 生物多样性， 20(3)：286-299.]

PICKERING C， MOUNT A， 2010. Do tourists disperse weed seed? A global review of unintentional uman-mediated terrestrial seed dispersal on clothing, vehicles and horses[J]. J Sustain Tourism， 18(2)：239-256.

PYŠEK P， RICHARDSON DM， 2006. Traits associated with invasiveness in alien plants: where do we stand? // Biological invasions[M]. Heidelberg， Berlin：Springer：97-125.

RICHARDSON DM， PYŠEK P， REJMáNEK M， et al, 2000. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions[J]. Divers Distrib， 6(2)：93–107.

RICKLEFS RE， GUO QF， QIAN H， 2008. Growth form and distribution of introduced plants in their native and non-native ranges in Eastern Asia and North America[J]. Divers Distrib， 14(2)：381–386.

SHEN SC， ANDREW A， WILLSON D， et al, 2006. Ecological investigation of the invasive

species Rumex nepalensis in Alpine rangeland in NW Yunnan Province[J]. J Southwest For Coll， 26(3)：11-14. [申时才， Andrew， Willson， 等,2006. 滇西北高山牧场入侵物种土大黄生态学调查[J]. 西南林业大学学报， 26(3)：11-14.]

SHEN SC， ZHANG FD， XU GF， et al, 2012. Occurrence and infestation of invasive weed in crop field in Yunnan[J]. Southwest Chin J Agr Sci， 25(2)：554-561. [申时才， 张付斗， 徐高峰， 等,2012. 云南外来入侵农田杂草发生与危害特点[J]. 西南农业学报， 25(2)：554-561.]

SHI GR， MA CC， 2006. Biological characteristics of alien plants successful invasion[J]. Chinese J Appl Ecol， 17(4)：727-732. [史刚荣， 马成仓， 2006. 外来植物成功入侵的生物学特征[J]. 应用生态学报， 17(4)：727-732.]

TANG XX， HUANG SQ， 2012. Research progress on diversity and variation in flower color [J]. Plant Divers Resour， 34(3)：239-247. [汤晓辛， 黄双全， 2012. 花色多样性与变异的研究进展[J]. 植物分类与资源学报， 34(3)：239-247.]

TAO C， 2012. A preliminary investigation on exotic invasive plants in Pu'er,Yunnan Province[J]. J Simao Teach'Coll， (6)：1-5. [陶川， 2012. 云南普洱外来入侵植物的初步调查[J]. 普洱学院学报， (6)：1-5.]

WAN FH， HOU YM， JIANG MX， 2015. Invasion biology [M]. Beijing: Science Press: 44-51. [万方浩， 侯有明， 蒋明星， 2015. 入侵生物学[M]. 北京：科学出版社：44-51.]

WANG HC， WAN YH， WANG CY， et al, 2010. New invasive and new distribution species of spermatophyte in Yunnan[J]. Plant Divers Resour， 32(3)：227-229. [王焕冲， 万玉华， 王崇云， 等,2010. 云南种子植物中的新入侵和新分布种[J]. 植物分类与资源学报， 32(3)：227-229.]

WANG N， LI WF， ZHOU B， et al, 2016. Invasiveness, clonal form and geographical origin of invasive clonal plant species in China[J]. Biodivers Sci， 24(1)：12-19. [王宁， 李卫芳， 周兵， 等,2016. 中国入侵克隆植物入侵性、克隆方式及地理起源[J]. 生物多样性， 24(1)：12-19.]

WANG SH， SUN WB， CHENG X， et al, 2008. Reproductive characteristics of Tithonia diversifolia and its geographical spread in Yunnan Province of South-West China [J]. Acta Ecol Sin， 28(3)：1307-1313. [王四海， 孙卫邦， 成晓， 等,2008. 外来植物肿柄菊(Tithonia diversifolia) 的繁殖特性及其地理扩散[J]. 生态学报， 28(3)：1307-1313.]

WEBER E， SUN SG， LI B. 2008. Invasive alien plants in China: diversity and ecological insights[J]. Biol Invasions， 10(8)：1411-1429.

WICHMANN MC， ALEXANDER MJ， SOONS MB， et al, 2009. Human-mediated dispersal of seeds over long distances[J]. Proc Roy Soc B Biol Sci， 276(1656)：523-532.

WILLIAMS KJ， FORD A， DAN FR， et al, 2011. Forests of East Australia: The 35th biodiversity hotspot[M]// Biodiversity hotspots. Springer Berlin Heidelberg：295-310.

WILLIAMSON MH， FITTER A， 1996. The characteristics of successful invaders[J]. Biol Conserv， 78(1–2)：163-170.

XIE Y， 2008. Biological invasion and ecological security in China[M]. Shi Jiazhuang： Hebei Science and Technology Press：1-696. [解焱， 2008. 生物入侵与中国生态安全[M]. 石家庄: 河北科技出版社：1-696.]

XU CD， DONG XD， LU SG， 2006. Invasive plants in Honghe River basin of Yunnan Province, China [J]. Chin J Ecol， 25(2)：194-200. [徐成东， 董晓东， 陆树刚， 2006. 红河流域的外来人侵植物[J]. 生态学杂志， 25(2)：194-200.]

XU CD， LU SG， 2006. The invasive plants in Yunnan[J]. Guihaia， 26(3)：227-234. [徐成东， 陆树刚， 2006. 云南的外来入侵植物[J]. 广西植物， 26(3)：227-234.]

XU HG， QIANG S， 2004. Inventory invasive alien species in China[M]. Beijing： China Environmental Science Press：1-432. [徐海根， 强胜， 2004. 中国外来入侵物种编目[M]. 北京：中国环境科学出版社：1-432.]

XU HG， QIANG S， 2011. China's invasive alien species[M]. Beijing：Science Press：95-423. [徐海根， 强胜， 2011. 中国外来入侵生物[M]. 北京：科学出版社：95-423.]

XU RM， YE WH， 2003. Theory and practice of biological invasion[M]. Beijing： Science Press：80-95. [徐汝梅， 叶万辉， 2003. 生物入侵理论与实践[M]. 北京：科学出版社：80-95.]

YAN XL， LIU QR， SHOU HY， et al, 2014. The categorization and analysis on the geographic distribution patterns of Chinese alien invasive plants[J]. Biodivers Sci， 22(5)：667-676. [闫小玲， 刘全儒， 寿海洋， 等,2014. 中国外来入侵植物的等级划分与地理分布格局分析[J]. 生物多样性， 22(5)：667-676.]

YANG B， YANGJIN ZG， PAN XY， et al, 2010. Alien terrestrial herbs in China: diversity and ecological insights [J]. Biodivers Sci， 18(6): 660-666. [杨博， 央金卓嘎， 潘晓云， 等, 2010. 中国外来陆生草本植物：多样性和生态学特性[J]. 生物多样性， 18(6)：660-666.]

YANG FJ， ZHANG ZH， WANG WJ， et al, 2007. Anatomical and physiological differences of eight exotic species from Asteraceae[J]. Acta Ecol Sin， 27(2)：442-449. [杨逢建，张衷华，王文杰， 等,2007. 八种菊科外来植物种子形态与生理生化特征的差异[J]. 生态学报，27(2)：442-449. ]

YANG ZX， TAO J， ZHENG JX， 2014. Study on the characteristics of alien invasive plants of wetland in Yunnan[J]. J West Chin For Sci， (1)：54-61. [杨忠兴， 陶晶， 郑进烜， 2014. 云南湿地外来入侵植物特征研究[J]. 西部林业科学， (1)：54-61.]

ZHANG SS， XIAO YA， 2013. Life –form and diversity of sexual system of invasive alien plants in China[J]. Bull Bot Res， 33(3)：351-359. [张斯斯， 肖宜安， 2013. 中国外来入侵植物生活型与性系统多样性[J]. 植物研究， 33(3)：351-359.]

ZHANG YJ， ZHANG NM， GAO YJ， 2004. Analysis of the present situation of biological invasion in Yunnan Province[J]. Environ Sci Surv， 23(1)：10-14. [张玉娟， 张乃明， 高阳俊， 2004. 云南省生物入侵现状分析[J]. 环境科学导刊， 23(1)：10-14.]

ZHAO JM， 2007. Study on the main exotic invasive plant species in Ruili,Yunnan[J]. J Southwest For Coll， 27(1)：20-24. [赵见明， 2007. 瑞丽主要外来入侵植物[J]. 西南林业大学学报， 27(1)：20-24.]

ZHAO JL， MA YX， ZHU H， et al, 2008. Invasion patterns of seven alien plant species along roadsides in southern mountainous areas of Yunnan Province[J]. Biodivers Sci，16(4)：369-380. [赵金丽， 马友鑫， 朱华， 等,2008. 云南省南部山地 7 种主要入侵植物沿公路两侧的扩散格局[J]. 生物多样性， 16(4)：369-380.]

ZHAO CL， GUO WM， CHEN JY， 2005. Formation and regulation of flower color in higher plants [J]. Chin Bull Bot， 22(1)：70-81. [赵昶灵， 郭维明， 陈俊愉， 2005. 植物换色形成及其调控机理[J]. 生物学通报， 22(1)：70-81.]

ZHOU B， YAN XH， XIAO YA， et al, 2013. Traits of reproductive biology associated with invasiveness in alien invasive plant Phytolacca americana[J]. Eco Environ Sci， (4)：567-574. [周兵， 闫小红， 肖宜安， 等,2013. 外来入侵植物美洲商陆的繁殖生物学特性及其与入侵性的关系[J]. 生态环境学报， (4)：567-574.]

ZHU JL， LIU ZM， 2012. Majoy terminologies and concepts in seed dispersal biology[J]. Chin J Ecol， 31(9)：2397-2403. [朱金雷， 刘志民， 2012. 种子传播生物学主要术语和概念[J]. 生态学杂志， 31(9)：2397-2403.]

ZWAENEPOEL A， ROOVERS P， HERMY M， 2006. Motor vehicles as vectors of plant species from road verges in a suburban environment[J]. Basic Appl Ecol， 7(1)：83-93